

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **176 448** (13) U1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[G01N 11/16 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 18.03.2019)  
Пошлина: учтена за 1 год с 04.08.2017 по 04.08.2018

(21)(22) Заявка: [2017128021](#), 04.08.2017(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.08.2017Дата регистрации:  
18.01.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.08.2017

(45) Опубликовано: [18.01.2018](#) Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2473883 C2, 27.01.2013. RU  
2366925 C1, 10.09.2009. RU 2349898 C1,  
20.03.2009. US 5868027 A, 09.02.1999.

Адрес для переписки:  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,  
УрФУ, Центр интеллектуальной  
собственности

(72) Автор(ы):

Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),  
Цепелев Владимир Степанович (RU),  
Вьюхин Владимир Викторович (RU),  
Конашков Виктор Васильевич (RU)

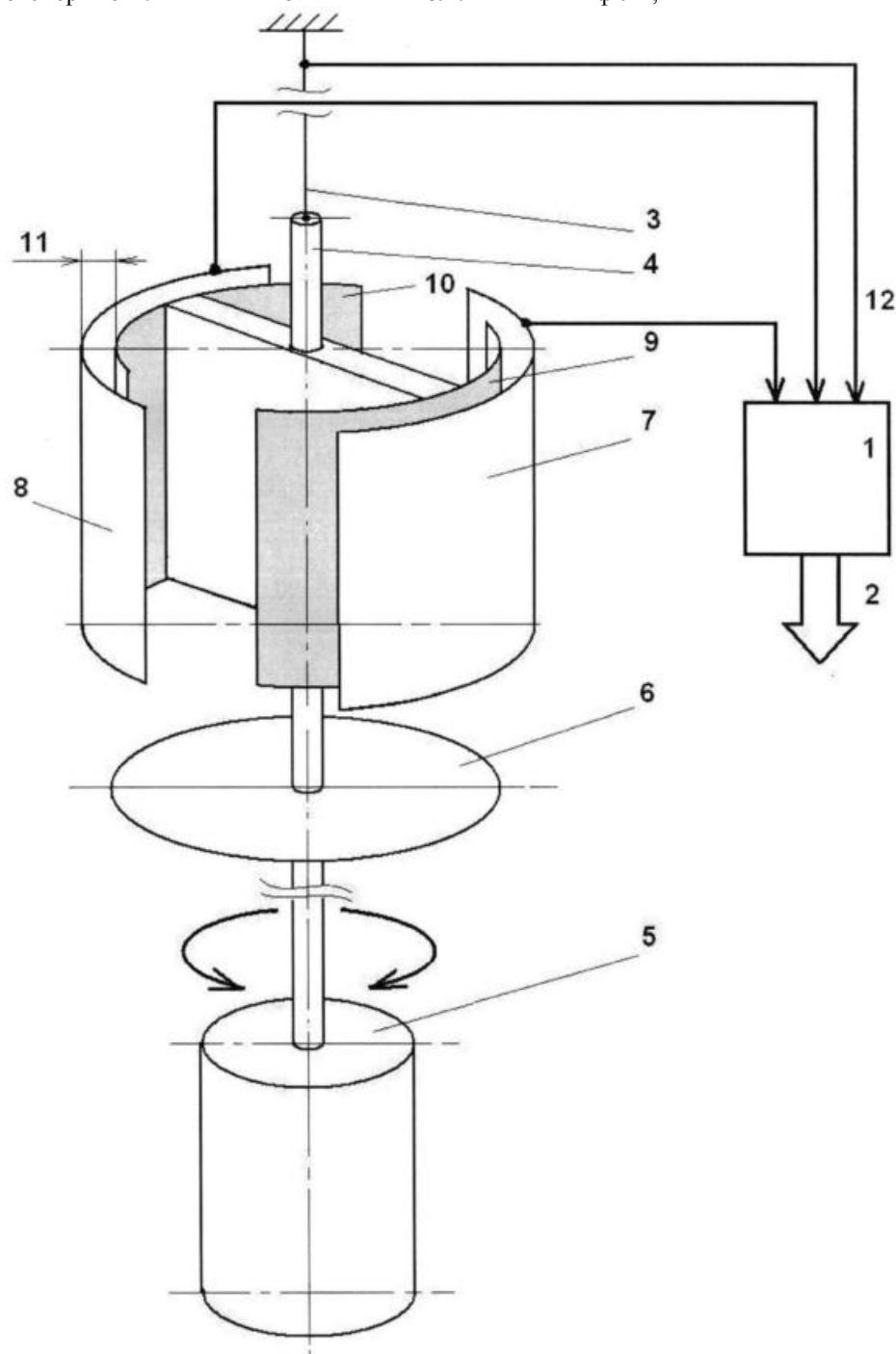
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский федеральный  
университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(54) Датчик устройства бесконтактного определения вязкости образцов металлических  
расплавов

(57) Реферат:

Полезная модель относится к технической физике, а именно к устройствам для измерения физических параметров веществ, и предназначена для бесконтактного измерения кинематической вязкости образцов высокотемпературных металлических расплавов, выполненных, например, на основе железа, путем регистрации и последующего определения параметров затухания крутильных колебаний цилиндрического тигля с образцом расплава. Датчик содержит выходную шину, генератор и узел, обладающий функцией комплексного электросопротивления, который содержит, по меньшей мере, два элемента, совместно обладающих возможностью бесконтактного преобразования крутильных колебаний подвесной системы в электрический сигнал, с возможностью их размещения вне зоны нагрева электропечи, первый элемент обладает функцией ротора, второй элемент обладает функцией статора, первый из элементов зафиксирован на упругой нити, второй зафиксирован напротив первого в электропечи. Полезная модель обеспечивает обнаружение задымления и уменьшение его влияния на эксперимент, расширяет функциональные возможности устройства, обеспечивает продление исследования и получение дополнительных результатов, обеспечивает определение связи  $\epsilon$  дыма в электропечи и результатов эксперимента, устранение субъективного влияния на



Фиг. 1

Предлагаемая полезная модель относится к технической физике, к устройствам изучения физических параметров веществ, а именно для бесконтактного измерения кинематической вязкости образцов высокотемпературных металлических расплавов путем определения параметров затухания крутильных колебаний тигля с образцом расплава. Дополнительной сферой являются металлургия и обучение студентов.

Определение параметров металлических жидкостей, в частности определение кинематической вязкости образцов высокотемпературных расплавов, позволяет давать рекомендации для получения требуемых сплавов. Для высокотемпературных исследований кинематической вязкости расплавов с температурой плавления от 1000 до 2000°C могут быть использованы лишь немногие устройства, преимущественно на основе фотометрии траектории светового луча, а в конечном итоге, амплитудно-временных параметров свободного затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой, например, нихромовой нити, происходящих после выключения закручивания этой нити на угол  $\phi$  - см. пат. РФ №2366925 - аналог. Такая повторенная в каждой температурной точке процедура - закручивание тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити, - отключение узла закручивания - измерение параметров свободных крутильных колебаний с затуханием - повторное закручивание - является стандартным режимом измерений.

Известно устройство, основными узлами которого являются тигель с расплавом, подвешенный на упругой стальной нити, электропечь, фотометрический датчик - преобразователь крутильных колебаний подвесной системы, содержащий зеркало, укрепленное на упругой стальной нити, лампу - осветитель, фотосенсор в виде оптической шкалы - линейки, по которой движется отраженный от зеркала световой луч - «зайчик» - см. С.И. Филиппов и др. «Физико-химические методы исследования металлургических процессов», М., Металлургия, 1968, с. 254, 255, рис. 107 - аналог.

Недостатки фотометрических устройств нижеследующие. Во-первых, задымление в электропечи блокирует световой луч и существенно затрудняет эксперимент. Во-вторых, точность результатов пропорциональна оптическому расстоянию между источником света и фотосенсором, например, 5-15 м, что требует больших габаритов установки. В-третьих, для каждой температурной точки определяемых термозависимостей требуется коррекция взаимного положения фотометрических компонентов датчика - осветителя, фотосенсора и отражающего зеркала, в том числе из-за продольных и поперечных колебаний упругой нити. В-четвертых, наличие смотрового окна усложняет конструкцию электропечи. В конечном итоге, это вносит субъективность в результаты и не всегда обеспечивает осуществление и продолжение экспериментов.

Существуют бесконтактные нефотометрические датчики - преобразователи физических величин в электрический сигнал, а именно динамики комплексного электросопротивления  $Z$ , преимущественно его реактивной составляющей  $X_c$  или  $X_L$ . Предпочтительны емкостные датчики в сравнении с индуктивными. Они обеспечивают более высокую точность, возможность расчета и выбора конструкции емкостного датчика, и использования заданной зависимости между изменением емкости  $\Delta C$  и угловым перемещением  $\Delta \phi$  подвижной части датчика. По сути это конденсатор переменной емкости (КПЕ) пластинчатой, цилиндрической или дифференциальной конструкции. Его емкость  $\Delta C$  изменяется с изменением угла поворота  $\Delta \phi$  подвижной части, т.е. ротора - см. Е.С. Левшина, П.В. Новицкий «Электрические измерения физических величин» Л., Энергоатомиздат, 1983, стр. 142-144, рис. 7.9. КПЕ имеет комплексное сопротивление  $Z$  в виде реактивного емкостного сопротивления  $X_c$ , где  $X_c = 1/2\pi fC \sim 1/C$ . В общем случае, величина  $C$  пропорциональна диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , площади перекрытия  $S$  подвижной и неподвижной частей в виде ротора и статора, и обратно пропорциональна расстоянию  $d$  между ними:  $C \sim \epsilon \cdot S/d$ . При фиксированном  $d$  определяют  $(C+\Delta C)_i$  при измерении площади  $(S+\Delta S)_i$  и/или диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , при  $\epsilon = \text{const}$ , получается:  $(C+\Delta C)_i \sim (S+\Delta S)_i$ . Кроме того, цилиндрические коаксиальные конденсаторы используют в качестве емкостного датчика перемещения - см. Дж. Фрайден «Современные датчики». Справочник. М., Техносфера, 2005, стр. 68.

Определение емкости конденсатора осуществляют его подключением к входу измерителя емкости, например LC-метра или мостовой схемы - см. вышеотмеченное Е.С. Левшина. Стандартный КПЕ, например типа 1(2,3)КПВМ, выполнен многослойным или дифференциальным - с двумя статорами и одним ротором, который входит/выходит одновременно в оба статора, преимущественно с воздушным диэлектриком. Независимо от прямочастотной, логарифмической или прямоемкостной зависимости  $\Delta C(\Delta \phi)$ , например в пределах угла поворота  $\phi = 180^\circ$  или  $90^\circ$ , КПЕ имеет жесткую конструкцию для обеспечения стабильности параметров  $\Delta C(\Delta \phi)$ ,  $C_{\min}$ ,  $C_{\max}$ ,  $d$ ,  $S$ . - см. «Справочник радиолюбителя», Свердловск, 1962, стр. 69-72.

Невозможность использования стандартного КПЕ в качестве датчика угла закручивания  $\phi$  упругой нити обусловлена тем, что его момент вращения  $M = 150 \div 600$  гс·см. Он обусловлен трением в оси конструкции и превышает на 3-4 порядка допустимое значение при соединении ротора КПЕ с упругой нитью. Кроме того, температура в электропечи даже вне зоны нагрева образцов, над тепловым экраном, может достигать  $+(200 \div 300)^\circ\text{C}$ , что в 2-4 раза превышает предел температуры использования стандартного КПЕ. Кроме того, задымление в электропечи, непредсказуемо возникающее в ходе экспериментов, может изменить значение  $\epsilon$ , тогда  $\epsilon \neq \text{const}$ , что может исказить полученных результаты и в конечном итоге уменьшить их точность и достоверность.

Наиболее близким к предлагаемой полезной модели является устройство бесконтактного определения вязкости образцов металлических расплавов, содержащее тигель с возможностью его коаксиального подвешивания в зоне нагрева вертикальной цилиндрической электропечи на закручиваемой упругой нити, датчик, обладающий функцией бесконтактного преобразования крутильных колебаний подвесной системы в электрический сигнал, выходную шину - см. пат. РФ №2473883.

Недостатком вышеуказанных устройств является то, что наличие смотрового окна в электропечи и необходимость постоянной коррекции взаимного положения компонентов фотометрического датчика усложняют эксперимент и удорожают конструкцию электропечи, а также обуславливают большие габариты измерительной установки. При задымлении в электропечи затруднено продление исследования и получение дополнительных результатов, в том числе сравнительных данных о начале

задымления и динамике его влияния при изучении различных образцов, затруднено обнаружение задымления без участия экспериментатора, отсутствует возможность изучения связи результатов эксперимента с диэлектрической проницаемостью компонентов дыма, не обеспечены устранение субъективного влияния экспериментатора и снижение квалификационных требований к нему.

Задачей предлагаемой полезной модели является обеспечение обнаружения задымления без участия экспериментатора, уменьшение влияния этого задымления на ход эксперимента, устранение постоянной коррекции взаимного положения компонентов датчика, расширение функциональных возможностей устройства, обеспечение возможности продления исследования и получения дополнительных результатов, в том числе сравнительных данных о начале задымления и динамике устранения его влияния для различных образцов, обеспечение возможности определения связи диэлектрической проницаемости компонентов дыма в электропечи и результатов эксперимента, устранение субъективного влияния на эксперимент, снижение квалификационных требований.

Технический результат достигается тем, что полезная модель обеспечивает обнаружение задымления и уменьшение влияния этого задымления на ход эксперимента, устранение постоянной коррекции положения компонентов датчика, расширяет функциональные возможности устройства, обеспечивает возможности определения связи диэлектрической проницаемости компонентов дыма в электропечи и результатов эксперимента, увеличения объективности оценки физико-химических характеристик задымления при изучении различных образцов, что позволяет объективно выбрать начало процедуры уменьшения задымления в электропечи. Кроме того, обеспечиваются возможности продления исследования и получения дополнительных результатов, в том числе сравнительных данных о начале задымления и динамике устранения его влияния для различных образцов, уменьшение субъективного влияния на эксперимент, снижение квалификационных требований. Кроме того, уменьшаются габариты измерительной установки, упрощается и удешевляется ее конструкция. Таким образом, в конечном итоге возрастает достоверность и точность бесконтактного определения вязкости образцов металлических расплавов.

Для решения поставленной задачи предлагается полезная модель датчика устройства бесконтактного определения вязкости образцов металлических расплавов, а именно:

1. Датчик устройства бесконтактного определения вязкости образцов металлических расплавов, обладающий функцией бесконтактного преобразования крутильных колебаний подвесной системы в электрический сигнал, содержащий выходную шину, генератор и узел, обладающий функцией комплексного электросопротивления, который содержит по меньшей мере два элемента, совместно обладающих возможностью бесконтактного преобразования крутильных колебаний подвесной системы в электрический сигнал, с возможностью их размещения вне зоны нагрева электропечи, первый из элементов зафиксирован на упругой нити, второй зафиксирован напротив первого внутри вышеуказанной электропечи.
2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что генератор выполнен модулируемым импульсным или гармоническим.
3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что узел выполнен в виде электрического конденсатора переменной емкости.
4. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что узел выполнен в дифференциальном виде.
5. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что первый элемент обладает функцией ротора, а второй обладает функцией статора.
6. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что геометрические центры элементов расположены друг напротив друга.
7. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что элементы выполнены в виде, по меньшей мере, двух электропроводных коаксиальных полуцилиндров или пластин.
8. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что размеры элементов неодинаковы.
9. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что выходная шина выполнена в виде беспроводного канала связи.

Предлагаемая полезная модель поясняется чертежами:

фиг. 1 - блок-схема датчика устройства бесконтактного определения вязкости образцов металлических расплавов;

фиг. 2 - схема узла, обладающего функцией комплексного электросопротивления.

Полезная модель содержит вертикальную электропечь (на схеме не показано), генератор 1, его выходную шину 2, являющуюся шиной датчика, подключенную к компьютеру (на схеме не показан), упругую нить 3, верхний конец которой коаксиально зафиксирован в верхней крышке (на схеме не показано) вертикальной электропечи, молибденовый стержень 4, закрепленный на нижнем конце упругой нити 3 и подвешенный в высокотемпературной зоне нагрева электропечи, на нижнем конце молибденового стержня 4 закреплен тигель 5 с размещенным в нем изучаемым образцом, тепловой экран 6, расположенный над высокотемпературной зоной нагрева электропечи, дифференциальные полуэлементы 7 и 8, образующие второй элемент (статор), дифференциальные полуэлементы 9 и 10, которые соединены параллельно и

образуют первый элемент (ротор). Полуэлементы 7 и 8, 9 и 10, образующие второй и первый элементы, подключены к входу генератора 1. Они могут быть включены по трехпроводной схеме, или по двухпроводной схеме с объединением полуэлементов 7 и 8, полуэлементов 9 и 10. Высокотемпературную зону создает коаксиальный нагреватель, питающийся от силовой сети (на схеме не показано).

В качестве генератора 1 используют модулируемый генератор: импульсный, частота импульсов которого зависит от емкости - см. С.А. Бирюков «Применение интегральных микросхем серии ТТЛ», М., приложение к журналу «Радио», 1992, стр. 116-117, рис. 159, либо гармонический, например с резонансным контуром, напряжение на котором зависит от изменения частоты  $\Delta f$ , обусловленной изменением контурной емкости  $(C+/-\Delta C)_i \sim (S+/-\Delta S)$  - см. вышеотмеченное Е.С. Левшина, стр. 148-149, рис. 7-16. Кроме того, можно использовать цифровой измеритель емкости, например Е7-22, имеющий 5-разрядную цифровую шкалу и интерфейс RS-232 в качестве выходной шины 2. Выходная шина 2, являющаяся шиной датчика, может быть выполнена беспроводной, например, в виде радио- или оптического канала связи, в частности Wi-Fi. Передатчик может быть снаружи электропечи, например, на ее верхней торцевой крышке (на схеме не показано). Это позволяет разнести, если требуется, управляющий компьютер и электропечь на определенное расстояние. В качестве упругой нити 3 используют нихромовую нить длиной 650 и диаметром 0,15 мм. Объем исследуемого расплава в тигле 5 составляет 2-8 см<sup>3</sup>. Тепловой экран 6 выполнен в виде фторопластового диска. Дифференциальные цилиндрические полуэлементы 7 и 8, образующие коаксиальный статор, выполнены из Мо в виде фольги толщиной 0,5 мм и длиной  $L_{\text{стат}}$  не меньше 100 мм. Они закреплены на внутренней поверхности электропечи с электроизоляцией от нее, например, фторопластовой пленкой (на схеме не показано). Дифференциальные цилиндрические полуэлементы 9 и 10 электрически соединены параллельно и образуют Н-образный коаксиальный ротор, закрепленный на молибденовом стержне 4. Они выполнены из фольги, например Al, толщиной меньше 0,3 мм и длиной ротора  $L_{\text{рот.}} \leq L_{\text{стат}}$  по меньшей мере на 10 мм для исключения краевых эффектов, неизбежных при вертикальных смещениях упругой нити 3, молибденового стержня 4 и тигля 5 в пределах 1-5 мм во время экспериментов. Таким образом, площадь ротора и статора различны. Они расположены на расстоянии 11, равном  $d$ , обеспечивающем отсутствие электрического контакта между ротором и статором, преимущественно  $d \geq 2$  мм. Геометрические центры всех полуэлементов расположены друг напротив друга для уменьшения краевых эффектов. Параллельное соединение цилиндрических полуэлементов 9 и 10 уменьшает влияние разнонаправленного изменения емкости по отношению к цилиндрическим полуэлементам 7 и 8 при паразитных поперечных колебаниях упругой нити 3, стержня 4 и тигля 5 во время экспериментов, достигающих вышеотмеченной величины  $d \leq 2$  мм. Суммарная величина емкости  $(C+/-\Delta C)_i$ , вышеописанных цилиндрических полуэлементов, составляет, по меньшей мере, 20 pF. Кроме того, полуэлементы могут быть выполнены в количестве  $N \geq 2$  каждый. При этом они образуют многоэлементные статор и ротор, чтократно увеличивает величину емкости  $(C+/-\Delta C)_i$ , а также могут быть выполнены в виде пластинчатого плоского набора. На верхнем крае каждого из полуэлементов 7 и 8 и наверху упругой нити 3 фиксируют, например точечной сваркой, провода 12, выполненные, например в виде многожильного провода типа МГТФ диаметром  $D \leq 0,5$  мм, посредством которых осуществляют подключение определяемой емкости  $(C+/-\Delta C)_i$  к входу генератора 1.

Бесконтактное определение вязкости образцов посредством полезной модели осуществляют следующим образом. Фиксируют над тепловым экраном 6 дифференциальные цилиндрические полуэлементы 7 и 8 на внутренней поверхности электропечи. Перед экспериментом на стержне 4 закрепляют дифференциальные цилиндрические полуэлементы 9 и 10. Подготавливают образец, у которого определяют массу, помещают его в тигель 5, который подвешивают на нижнюю часть молибденового стержня 4, который опускают в район высокотемпературной изотермической зоны электропечи. Для обеспечения одинаковости расстояния 11, равного  $d$ , по всей окружности визуально контролируют коаксиальность полуэлементов 9 и 10 через верхнюю открытую крышку электропечи. Затем закрывают эту крышку, включают коаксиальный нагреватель, нагревают изотермическую зону и начинают эксперимент. Посредством юстировочного механизма, установленного в верхней крышке электропечи (на схеме не показано) изменяют угловое положение упругой нити 3 до тех пор, пока электрический сигнал  $U_{\text{вых}}$  выходной шины 2 генератора 1 не станет экстремальным, например, соответствующим  $C_{\text{min}}$  или  $C_{\text{max}}$ . Величину электрического сигнала  $U_{\text{вых}} = U^0$  принимают в качестве эквивалентного нулевому углу  $\phi_0 = 0$  крутильных колебаний упругой нити 3. Затем нагревают образец в тигле 5 до заданной температуры  $t_i$ , при этом определяют параметры изменившегося электрического сигнала  $U_{\text{вых}} = U_i$ , который соответствует изменившейся величине  $C_i$ . Динамика изменения величины  $C_i$  и появление на одном из портов управляющего компьютера сигнала  $U_i$ , который соответствует изменившейся величине  $C_i$ , обеспечивает появление на выходе этого

компьютера сигнала управления устройством закручивания упругой нити 3, молибденового стержня 4 и тигля 5 с образцом.

Задымление может быть зарегистрировано сравнением текущей величины  $C_i$ , и начальной  $C_0$ . В случае плавного однонаправленного дрейфа  $C_i$ , например, в течение 1-10 мин, компьютер вырабатывает сигнал тревоги. Изменение  $C_i$  может быть обусловлено испарением компонентов расплава, отражаемым в изменении диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  вследствие появления летучих соединений в виде дыма, что нарушает условие  $\epsilon = \text{const}$ . В случае задания порога сдвига  $C_i$  перед началом эксперимента в виде величины, устанавливаемой на основе анализа базы данных предыдущих экспериментов, например,  $(10-50)\%$  от  $C_0$ , компьютер сравнивает  $C_i$  с этим порогом, останавливает эксперимент в случае превышения этого порога и сигнализирует о возникновении нештатной ситуации. Экспериментатор начинает процедуру устранения задымления, подкачки в электропечь инертного газа, а затем продолжает эксперимент. При этом возникает возможность изучения связи значений  $\epsilon$  с термозависимостями значений вязкости расплава и, таким образом, обеспечивается возможность расширения функциональных возможностей устройства.

#### Формула полезной модели

1. Датчик устройства бесконтактного определения вязкости образцов металлических расплавов, обладающий функцией бесконтактного преобразования крутильных колебаний подвесной системы в электрический сигнал, содержащий выходную шину, генератор и узел, обладающий функцией комплексного электросопротивления, который содержит, по меньшей мере, два элемента, совместно обладающих возможностью бесконтактного преобразования крутильных колебаний подвесной системы в электрический сигнал, с возможностью их размещения вне зоны нагрева электропечи, первый из элементов зафиксирован на упругой нити, второй зафиксирован напротив первого внутри вышеуказанной электропечи.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что генератор выполнен модулируемым импульсным или гармоническим.

3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что узел выполнен в виде электрического конденсатора переменной емкости.

4. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что узел выполнен в дифференциальном виде.

5. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что первый элемент обладает функцией ротора, а второй обладает функцией статора.

6. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что геометрические центры элементов расположены друг напротив друга.

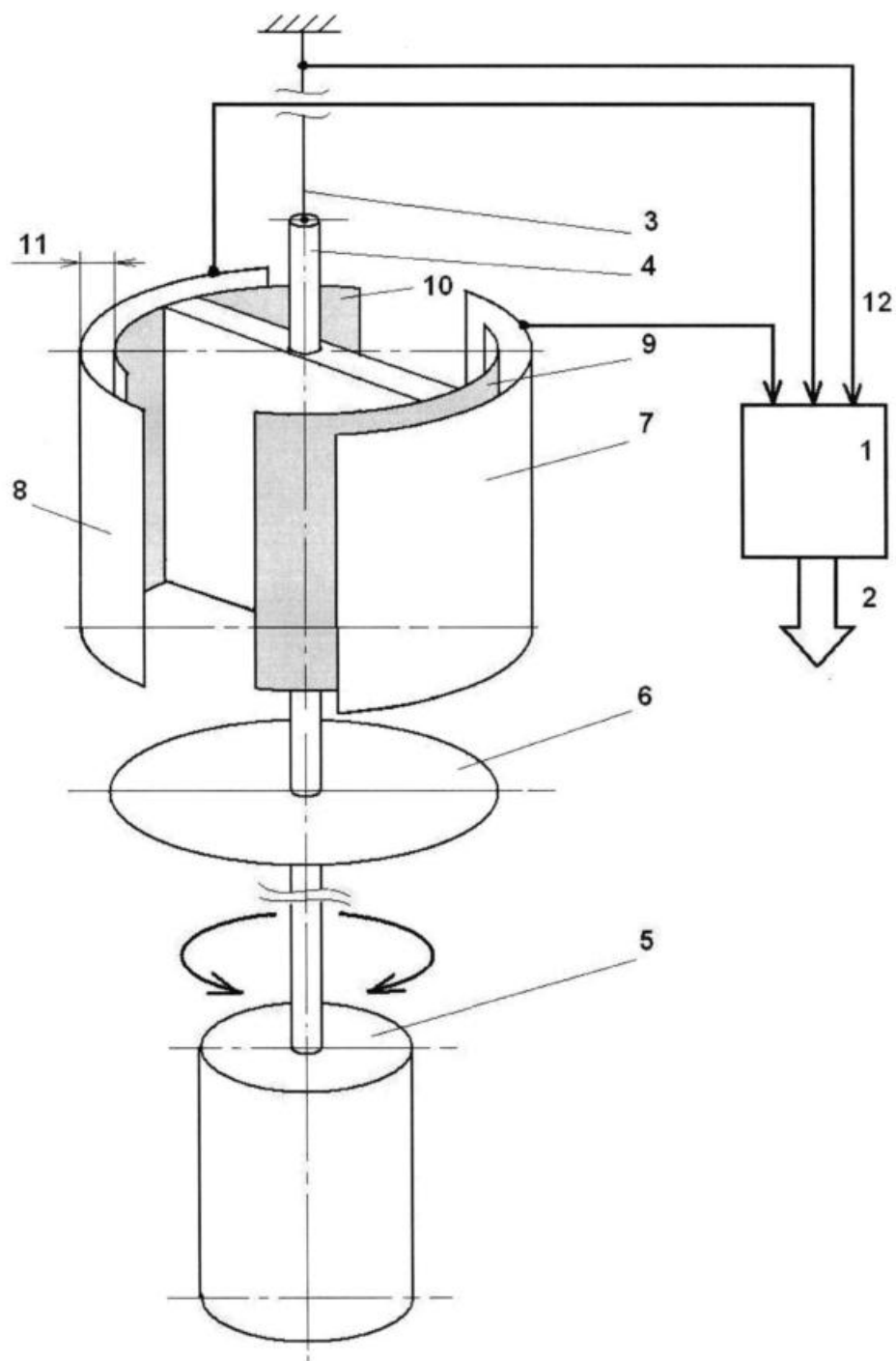
7. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что элементы выполнены в виде, по меньшей мере, двух электропроводных коаксиальных полуцилиндров или пластин.

8. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что размеры элементов неодинаковы.

9. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что выходная шина выполнена в виде беспроводного канала связи.



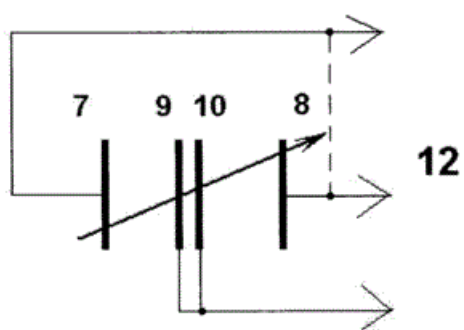
Датчик устройства бесконтактного определения  
вязкости образцов металлических расплавов



Фиг. 1

Датчик устройства бесконтактного  
определения вязкости образцов  
металлических расплавов





Фиг. 2

---

### ИЗВЕЩЕНИЯ

Дата прекращения действия патента: **05.08.2018**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **12.03.2019**

Дата публикации и номер бюллетеня: **12.03.2019** Бюл. №08